

dr hab. inż. Magdalena Niemczewska-Wójcik, prof. PK
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii i Automatykacji Produkcji

Kraków, 04.07.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Milczarka
pt. *Metalowe sondy do mikroskopii sił atomowych – technologia oraz ich zastosowanie do
innowacyjnych badań tribologicznych w mikroskali*

Promotor: dr hab. inż. Dariusz Jarząbek (Instytut Podstawowych problemów Techniki PAN)
Promotor Pomocniczy: dr inż. Marcin Michałowski (Politechnika Warszawska)

Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr SRN-407/4/D/22 skierowanego przez Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk prof. dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego, z dnia 25 kwietnia 2025r.

OMÓWIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ (TEMATYKA, TYTUŁ, UKŁAD ORAZ TREŚĆ) ZE WSKAZANIEM UWAG MERYTORYCZNYCH ORAZ REDAKCYJNYCH

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Michała Milczarka pt. *Metalowe sondy do mikroskopii sił atomowych – technologia oraz ich zastosowanie do innowacyjnych badań tribologicznych w mikroskali*, podejmuje zagadnienia w obszarze dyscypliny *inżynieria mechaniczna* dotyczące projektowania i technologicznego wytwarzania metalowych sond pomiarowych oraz sposobu ich wykorzystania, m.in. do badań właściwości tribologicznych układów w skali mikro.

Przedmiotem badań w rozprawie doktorskiej są sondy pomiarowe wykorzystywane w mikroskopach sił atomowych AFM. Biorąc pod uwagę dostępne rozwiązania sond pomiarowych przeznaczonych do badań tribologicznych układów w skali mikro, mgr inż. Michał Milczarek podjął prace nad opracowaniem autorskich metalowych sond pomiarowych, które Jego zdaniem pozwolą na uzyskanie odpowiedniej sztywności oraz umożliwią prowadzenie tego rodzaju badań tribologicznych w większym zakresie obciążeń. Badania tribologiczne mikroukładów są istotne z punktu widzenia trwałości i niezawodności coraz mniejszych obiektów technicznych. Natomiast trudności wykonywania badań tribologicznych układów w mikroskali związane są, z jednej strony z ograniczonym dostępem lub możliwościami klasycznych urządzeń do realizacji badań tarciovo-zużyciowych, z drugiej strony – ze specjalistycznym oprzyrządowaniem (specyfikacją oprzyrządowania) tych urządzeń oraz zakresem badań. Dlatego istotne jest poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań urządzeń badawczych, zarówno pod względem konstrukcyjnym jak też pod względem oprzyrządowania, np. materiału i konstrukcji sond pomiarowych, do zastosowań specjalnych.

Ze względu na geometrię sond pomiarowych, zarówno ich wytworzenie jak również późniejsza eksploatacja, są kosztowne. Stąd trwają prace nad poszukiwaniem oraz doskonaleniem mikroskopowych sond pomiarowych przeznaczonych do badań mikroukładów, prowadzone przez krajowe i zagraniczne ośrodki naukowe.

Wobec powyższego, tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Milczarka wpisuje się w obszar współcześnie prowadzonych prac naukowo-badawczych, w szczególności w zakresie badań tribologicznych układów w skali mikro, występujących w różnych obszarach techniki.

Tytuł rozprawy doktorskiej jednoznacznie oddaje jej treść. Zagadnienia ujęte w treści rozprawy doktorskiej są w większości aktualne oraz stanowią oryginalny wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna, obejmując podstawowe rozważania teoretyczne oraz prace projektowo-doświadczalne dotyczące sond pomiarowych mających zastosowanie w specjalistycznych oraz innowacyjnych badaniach tribologicznych (mikroukładów), przy wykorzystaniu precyzyjnego urządzenia jakim jest mikroskop sił atomowych.

Praca została napisana w języku polskim i liczy łącznie 130 stron tekstu, obejmując: stronę tytułową (1 strona), wykaz projektów i podziękowania (1 strona), *Streszczenie* w języku polskim (1 strona), streszczenie w języku angielskim – *Abstract* (1 strona), *Spis treści* (2 strony), Rozdział 1 – *Wstęp*, podzielony na pięć podrozdziałów (23 strony), rozdziały Rozdział 2 – Rozdział 4 poświęcone opisowi i realizacji badań własnych (88 stron), Rozdział 5 – *Podsumowanie* (2 strony), Rozdział 6 - *Spis literatury* (8 stron), Rozdział 7 - *Spis rysunków* (2 strony), Rozdział 8 – *Spis tabel* (1 strona). W treści rozprawy doktorskiej zawarto łącznie 62 rysunki oraz 22 tabele.

Układ recenzowanej rozprawy doktorskiej odbiega od przyjętego schematu tego rodzaju pracy naukowej, ale biorąc pod uwagę charakter zrealizowanych prac, jest akceptowalny. Natomiast zakres i treść rozprawy doktorskiej, pomimo uwag krytycznych, można uznać za zgodne z przyjętymi zasadami twórczości naukowej.

Stronę redakcyjną rozprawy doktorskiej oceniam w ogólnym ujęciu pozytywnie. Niemniej jednak, w ramach opracowanej recenzji, zobowiązana jestem do wskazania mankamentów oraz uwag, które uważam za istotne. Mogą one stanowić wskazówkę do przygotowania przyszłych prac naukowo-badawczych z udziałem mgr inż. Michała Milczarka.

W dalszej części recenzji, po syntetycznym scharakteryzowaniu każdego rozdziału, przedstawiam uwagi krytyczne, wątpliwości i pytania, które nasunęły się podczas lektury rozprawy doktorskiej. Do wybranych z nich, mgr inż. Michał Milczarek będzie zobowiązany odnieść się podczas publicznej obrony.

Streszczenie/Abstract prezentuje opis zagadnień związanych z mikroskopią sił atomowych oraz możliwość wykonywania badań tribologicznych z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych. Przedstawiono kolejne etapy wytwarzania sond pomiarowych, od projektu do wykonania oraz napotkane problemy, które starano się sukcesywnie rozwiązywać. Krótko scharakteryzowano dwa rodzaje badań, które pozwoliły na zweryfikowanie autorskich sond pomiarowych.

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Streszczenie prezentuje syntetyczny opis zakresu rozprawy doktorskiej. Nie zawiera informacji na temat zidentyfikowanej luki badawczej oraz celu prac projektowo-doświadczalno-analitycznych, który jednoznacznie uzasadniałby podjęcie tematu rozprawy doktorskiej.
- W streszczeniu brakuje konkretnych wniosków podsumowujących, które wysunięto na podstawie przeprowadzonych prac projektowo-doświadczalno-analitycznych. Jest jedynie informacja, że takie wnioski wysunięto, na podstawie przeprowadzonych prac oraz dyskusji wyników badań własnych odniesionych do podobnych, prezentowanych w literaturze przedmiotu.
- Często pada określenie „innowacyjne pomiary” czy „innowacyjne badania”, ale nie zdefiniowano, na czym wspomniana innowacyjność polega.
- Trzeci akapit, zdanie „... był pomiar współczynnika tarcia pomiędzy warstwami super-twardych materiałów a kulkami z różnorodnych materiałów”. Brakuje podania konkretnych informacji na temat „super-twardych materiałów” oraz „różnorodnych materiałów”, co można było zrobić, wstawiając przykłady tych materiałów w nawiasie.
- Zarówno w streszczeniu jak i kolejnych rozdziałach rozprawy doktorskiej podano, że do sondy przyklejane były kulki, jak wynika z treści, również o różnej średnicy. Jaki wpływ na wynik pomiaru może mieć geometria (średnica/promień) kulki wiedząc, że promień kulki to promień ostrza pomiarowego, który przekłada się na wynik pomiaru topografii powierzchni i na naciski powierzchniowe badanego węzła tarcia.
- W treści występuje wiele niedociągnięć redakcyjnych – błędów stylistycznych oraz interpunkcyjnych.

Rozdział pierwszy **Wstęp** przedstawia wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej, opisując zagadnienia dotyczące mikroskopii sił atomowych, z podziałem na podrozdziały: *Ogólne informacje o mikroskopii sił atomowych* (1.1), *Motywacja i geneza pracy* (1.2), *Aktualny stan wiedzy* (1.3), *Cel i teza pracy* (1.4), *Program badań* (1.5). W treści tego rozdziału skupiono się na opisie konstrukcji i znaczeniu poszczególnych elementów mikroskopu sił atomowych oraz trzech głównych trybach pomiaru i wykorzystywanych w pomiarach sond. Poza tym omówiono proces wytwarzania sond pomiarowych z podziałem na etapy, zależne od materiału sondy oraz możliwości modyfikacji sond krzemowych i wykorzystania innych sond w pomiarach. W dalszej części rozdziału pierwszego mgr inż. Michał Milczarek zaprezentował motywację podjęcia tematu rozprawy doktorskiej, opartą m.in. na doświadczeniu przy realizacji projektów naukowo-badawczych. Następnie przeprowadził przegląd literatury, aby na tej podstawie zdefiniować cel i tezę rozprawy doktorskiej oraz opracować program badań, który ten cel pozwoli osiągnąć, a tezę udowodnić.

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- W rozdziale przedstawiono zagadnienia związane z mikroskopią sił atomowych, jednak wyraźnie brakuje przywołania, na jakiej zasadzie funkcjonuje mikroskop sił atomowych. W żadnym z rozdziałów nie wspomniano o siłach van der Waalsa, nie przedstawiono także wykresu, który tłumaczy przyciąganie i odpychanie, często wymieniane w treści rozprawy doktorskiej.
- Rozdział zatytułowany *Wstęp* powinien wprowadzać do tematyki rozprawy doktorskiej. Natomiast oddzielnym rozdziałem powinien być *Przegląd literatury*, którego efektem byłoby zidentyfikowanie luki badawczej. Na tej podstawie, w kolejnych rozdziałach zatytułowanych odpowiednio *Cel i teza/hipoteza rozprawy doktorskiej* oraz *Przedmiot i metodyka badań* (materiały, program badań, metody badań i analiz), należało zamieścić stosowne informacje, co porządkowałoby zagadnienia ujęte w treści rozprawy doktorskiej.
- Punkt 1.1.1, strona 16. „W szczególności specjalne sondy niezbędne są do pomiarów parametrów innych niż topografia (kształt) próbki.” Jak rozumiane jest pojęcie „topografia powierzchni”? Jak rozumiane są

- parametry?, bo topografia rozumiana jako kształt jest niepoprawna. Brakuje wprowadzenia określeń, definiujących czym są poszczególne elementy struktury geometrycznej powierzchni.
- Punkt 1.1.1, strona 17. Proszę wyjaśnić w jaki sposób sonda działająca w trybie bezkontaktowym ulega zużyciu? Jakie formy zużycia występują w takim przypadku?
 - Punkt 1.1.1, strona 18. „Sondy pomiarowe mają również bardzo zróżnicowane ostrza pomiarowe. Typowe ostrze ma kształt niesymetrycznej piramidy o podstawie zbliżonej do rombu. ...” to i inne zdania opisują wygląd sondy lub części mikroskopu. Brakuje schematów lub zdjęć, które wsparłyby te opisy.
 - Punkt 1.1.2 opisuje wytwarzanie sond pomiarowych, których proces przedstawiono na rysunkach – Rysunek 3 i Rysunek 4. Brakuje informacji, co z tych opisów wynika, przede wszystkim w odniesieniu do proponowanych w kolejnych rozdziałach modyfikacji sond pomiarowych.
 - Punkt 1.1.3, strona 25. „Częstą metodą modyfikacji sond krzemowych jest przyklejanie do nich kulek jako ostrza pomiarowego. Realizowane jest to w różny sposób, a także do spełniania różnych celów”. Druga część zacytowanego akapitu jest niezrozumiała. Poza tym, o jakie „różne cele” chodzi? Jaka jest dokładność pomiaru sondą z przyklejoną do ostrza kulką? Jak się to odnosi do jakości mierzonej powierzchni, zwłaszcza tych charakteryzowanych większą chropowatością (wyższe wzniesienia, artefakty na powierzchni mierzonej, etc.)?
 - Podrozdział 1.2 zatytułowany *Motywacja i geneza pracy* zawiera pewne nieścisłości lub brak rzeczowego uzasadnienia. Wymieniono trzy zidentyfikowane przez mgr inż. Michała Milczarka problemy naukowe. Pierwszym był brak możliwości realizacji badań tribologicznych w mikroskali z obciążeniem od 50µN do 500 mN. Takie warunki badań zapewniają dostępne urządzenia, choćby firmy Anton Paar. Drugim był pomysł z przyklejaniem do sond kulek, który nie jest przekonujący ze względu na wątpliwą stabilność pomiaru, zwłaszcza podczas badań tribologicznych. Trzecim natomiast, zastosowanie metalowych sond do pomiaru właściwości elektrycznych i magnetycznych, którego nie uzasadniono.
 - Czy stosowane określenia „całkowicie metalowe sondy” jest poprawne? Co to sformułowanie w rzeczywistości oznacza, jakich materiałów dotyczy?
 - Punkt 1.3.1, strona 27. „Znaleziono również najwcześniejszą publikację tegoż autora, w której używa platynowych sond”. Co znaczy najwcześniejsza publikacja? Może wystarczyło napisać rok publikacji. Poza tym nie napisano do czego tego rodzaju sondy stosowano i czy słusznie? Skoro opis jest wątpliwy, to lepiej nie przytaczać takich publikacji w pracy naukowej.
 - Punkt 1.3.1, strona 27. „Jako, że ceramika jest nieprzewodząca, to na jej dolnej powierzchni umieszczone jest złote pole kontaktowe, do którego łączy się elektronika AFM.” W jaki sposób umieszczono wspomniane złote pole kontaktowe, czemu ma ono służyć i jak to się sprawdza?
 - Punkt 1.3.1, strona 27. „Dla wszystkich oferowanych sond deklaruje promień zaokrąglenia końcówki pomiarowej poniżej 20 nm.” W jaki sposób i z jaką dokładnością mierzony jest taka geometria końcówki pomiarowej?
 - Punkt 1.3.1, strona 28. „Wszyscy pozostali producenci oferują jedynie sondy krzemowe pokrywane cienką warstwą metalu na potrzeby pomiarów elektrycznych i magnetycznych”. Wszyscy pozostali, czyli konkretnie które?
 - Punkt 1.3.1, strona 28. „Dzięki temu sondy takie również sprawdziłyby się w pomiarach tribologicznych”. Z czego wynika takie stwierdzenie? W jakich warunkach przebiegałyby badania tribologiczne oraz dla jakich materiałów?
 - Punkt 1.3.2, strona 29. „Autorzy podkreślają też możliwość zastosowania różnych materiałów na ostrza i belki, wymieniają oni: metale, polimery i azotek krzemu.” O jakie metale i polimery chodzi? Przywołując publikację dobrze jest przedstawić konkretne rozwiązania w syntetycznym opisie.
 - Punkt 1.3.3, strona 31. Zamiast pisać „Tempo zużycia się połączeń ruchomych zaś wprost przekłada się na koszty związane z naprawą i wymianą elementów” lepiej napisać „Tempo zużycia się połączeń ruchomych wprost przekłada się na trwałość i niezawodność ich funkcjonowania”.
 - Punkt 1.3.3, strona 31. Pisząc o geometrii układu w tribometrach (skala makro) poprawny zapis powinien być następujący: obracający się dysk (próbka) z nieruchomą przeciwopróbką dociskaną siłą normalną...,

obracający się cylinder (próbka) z nieruchomą przeciwpróbką dociskaną siłą normalną..., nieruchoma próbka dociskana siłą normalną do przeciwpróbki będącej w ruchu posuwisto-zwrotnym z zadaną częstotliwością i amplitudą, obracająca się kulka (lub stożek) w węzle z trzema nieruchomymi kulkami.

- Podrozdział 1.4 zatytułowany *Cel i teza pracy*. W rzeczywistości określono dwa cele. Pierwszym z nich było opracowanie metody wytwarzania metalowych sond pomiarowych do AFM o szerokim i niespotykanym dotąd zakresie. Drugim było użycie wytworzonych sond do pomiarów tribologicznych. Brakuje wskazania, o jaki zakresu chodzi i w jakim sensie jest on niespotykany?
Poza tym zdanie „Tarcia ślizgowego z obciążeniem 1 mN na warstwach, które potencjalnie miałyby zastosowanie jako powłoki przeciwzużyciowe w mikrołożyskach tocznych, oraz do pomiaru oporów ruchu w mikrołożyskach tocznych” jest pozbawione sensu.
- Podrozdział 1.4. Sformułowana teza „Metalowe sondy do mikroskopów sił atomowych pozwolą na uzyskanie sztywności w zakresie od 2 N/m do 1000 N/m i w konsekwencji na pomiary tribologiczne z obciążeniem od 10 μ N do 1 mN, a także pomiar siły bocznej od 10 μ N do 1 mN” byłaby wiarygodna, gdyby zastosowano bardziej stanowcze określenie, czyli zamiast przypuszczenia „pozwolą” stwierdzenie „zapewniają”.
- Podrozdział 1.5 zatytułowany *Program badań*. Zaprezentowany program nie jest ani programem badań, ani też nie wnosi nic wartościowego do rozprawy doktorskiej. Poza wymienieniem punktów (raczej są to kolejne zadania), nie ma ani schematu, ani opisów.
- Brakuje podsumowania rozdziału, które wskazywałby zasadność wyboru tematyki rozprawy doktorskiej, zdefiniowania celu i tezy pracy oraz przyjętego programu badań, a także który wprowadzałby do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej.
- W treści występuje wiele niedociągnięć redakcyjnych – błędów stylistycznych oraz interpunkcyjnych, np. „... coraz lepsze oprogramowania przyspiesza pomiar i obróbkę danych ...” (str.11), „...- utwardza się lub osłabia” (str.19), „... duży sztywność normalna...” (str.26), „... a więc w jej sztywność znacznie rośnie” (str.32), „... z obciążeniem od 10 μ N 1 mN...” (str.33), etc.
- Rysunek 6, strona 27. Niepoprawny opis rysunku. Rysunek nie ma części – w przypadku, gdy stanowi zbiór kilku obrazów, opisuje się każdy z nich kolejną literą alfabetu, najczęściej po dwukropku, np. „Rysunek 6. Rysunki zaczerpnięte ze strony internetowej Rocky Moutains nanotechnology: a) widok na sondę od dołu, b) widok na sondę od boku, c) zdjęcie SEM ostrza pomiarowego”. Podobnie w tekście, gdy przywoływany jest któryś z elementów rysunku, podaje się np. „widok na sondę od dołu (Rysunek 6a)” a nie „widok na sondę od dołu (część a)”. Uwaga dotyczy wszystkich rysunków w treści rozprawy doktorskiej.

Rozdział drugi **Wytwarzanie całkowicie metalowych sond** obejmuje siedem podrozdziałów: *Zaproponowany proces wytwarzania sond (2.1), Obliczenia teoretycznych parametrów sond (2.2), Badanie poszczególnych elementów procesu (2.3), Problemy rozwiązane w czasie prac (2.4), Kalibracja sond (2.5), Dopracowany proces wytwarzania sond (2.6) oraz Wytworzone sondy pomiarowe (2.7)*, które poprzedza krótkie wprowadzenie. Przedstawiono w nim istotne, zdaniem mgr inż. Michała Milczarka, z punktu widzenia tematu rozprawy doktorskiej zagadnienia, dotyczące wytwarzania metalowych sond pomiarowych według autorskiej koncepcji popartej odpowiednimi obliczeniami oraz modyfikację tej koncepcji na podstawie zidentyfikowanych problemów.

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- We wprowadzeniu do rozdziału napisano „... popartą obliczeniami spodziewanych parametrów metalowych sond pomiarowych.” Proszę rozwinąć określenie „spodziewanych parametrów”.
- Podrozdział 2.1, strona 34. „Typowe techniki wytwarzania ubytkowego takie jak frezowanie czy nawet cięcie laserem nie zapewniają wystarczającej precyzji w tej skali”. Brakuje odniesienia do tego rodzaju stwierdzenia w literaturze przedmiotu.

- Podrozdział 2.2 zatytułowany „Obliczenia teoretycznych parametrów sond”. Jak należy rozumieć wspomniane „teoretyczne parametry”? Jak „teoretyczne parametry” mają się do „spodziewanych parametrów”, przedstawionych we wprowadzeniu do rozdziału?
- Tabela 2, strona 37. Czy prezentowane dane charakteryzujące sondy AFM to wynik badań własnych? Jeśli nie, to należało wskazać źródło tych danych.
- Podrozdział 2.2, strony 38-39. „Miały również pozwolić wytworzyć w sobie intuicję, co do wpływu różnych niepewności napotykanym w procesie wytwarzania” jest niezrozumiałe. Poza tym, o czyją intuicję chodzi? Co należy rozumieć przez różne niepewności i u kogo/gdzie one miałyby występować?
- Podrozdział 2.2, strona 39. Zdanie „Zaznaczyć należy również, że podczas gdy wytworzenie belek o grubości 50 μm jest możliwe, tak może być problematyczne pod względem praktycznym” jest niezrozumiałe. Brakuje kontynuacji tego zdania i wyjaśnienia jego drugiej części.
- Podrozdział 2.2, strona 39. „Jednak te wstępne obliczenia wykonano mając jako cel 3 rodzaje sond – do pomiarów kontaktowych,...”. Brakuje zdefiniowania/dopowiedzenia, o jakie trzy rodzaje sond chodzi?
- Podrozdział 2.2, strona 39. Zdanie „... Jednak znacznie różni się gęstość, która ma duży wpływ na częstotliwość rezonansową” nie ma kontynuacji, aby wyjaśnić co z tego wynika.
- Podrozdział 2.2, strona 39. „... która posiada parametry najbardziej zbliżone do komercyjnych sond krzemowych”. Brakuje ujednoczenia pojęć, tj. komercyjna sonda, a także – teoretyczna sonda, teoretyczne parametry sond, etc.
- Punkt 2.3.1, strona 44. Zdanie „Wcześniejsze doświadczenia pokazały, że jest to możliwe” nie przedstawia miejsca wspomnianego doświadczenia, tzn. gdzie to zostało zaprezentowane?
- Punkt 2.3.1 prezentuje opis przygotowania podłoża. Dobrze byłoby kolejne etapy przygotowania podłoża przedstawić w formie schematu, który byłby bardziej czytelny niż opis w tekście.
- Strona 46, Rysunek 10 (b) oraz zdanie „Tak przygotowane podłoża charakteryzowały się chropowatością R_a w zakresie 2-4 nm na profilu pomiarowym o długości 25 μm ”. W jaki sposób został przeprowadzony pomiar? Poza tym, pokazany na Rysunek 10 (b) profil wygląda na niewypoziomowany. W takim przypadku wyznaczony parametr R_a nie odzwierciedla poprawnie chropowatości profilu.
- Rysunek 14 z opisem, strony 52-53. Proszę wyjaśnić czy i jak nierównomierny kształt ostrza wpływa na wynik pomiaru, mając na uwadze skalę (chropowatość powierzchni mierzonej)?
- Punkt 2.3.4, strona 57. „Jednak otrzymywana warstwa była bardzo chropowata przez co nie odbijała promienia lasera”. Co znaczy określenie „bardzo chropowata”, tzn. jaka jest wartość parametru, który chropowatość opisuje?
- Punkt 2.3.4, strona 57. „W tym celu ... przeprowadzono polerowanie z wykorzystaniem diamentowej zawiesiny 1 μm , podobnie do ostatniego kroku przygotowania podłoża. Rezultatem polerowania było zmniejszenie grubości warstwy o około 1 μm i nadanie jej połysku”. Brakuje informacji, jak gruba była warstwa (może lepiej użyć określenia „naddatek na obróbkę”) przed polerowaniem przy wykorzystaniu diamentowej zawiesiny. Poza tym, jaka była granulacja mikroziaren diamentowych zawiesiny? Skąd wiadomo, że została usunięta czy też zmniejszona grubość warstwy o około 1 μm ?
- Rysunek 18, strona 57. Zamiast używać określenia „zbliżenie” lepiej użyć określenia „powiększenie” ze wskazaniem ile razy został obraz powiększony.
- W podsumowującym zdaniu punktu 2.3.4 należało wskazać, że z trzech badanych sond, zdecydowano się na wybór sondy niklowej.
- Punkt 2.3.6, strona 62. Zdanie „Szlifowanie takie przebiegało w krótkim cyklu na papierze ściernym o gradacji 2000” nie zostało poprzedzone informacją o jakimkolwiek szlifowaniu. Wobec tego, na czym polegało wspomniane szlifowanie, czemu służyło i jakie urządzenie oraz parametry (poza gradacją) szlifowania zastosowano? W kolejnym akapicie również wspomniano o szlifowaniu jako dodatkowym kroku (może lepiej operacji w procesie wytwarzania), poprawiającym jakość wytwarzanych sond (co wynika z kontekstu), ale nadal nie wiadomo z czego wynika ten dodatkowy krok.
- Punkt 2.4.1, strona 65. „Niska chropowatość sprawiła, że połączenie między warstwami nie było kształtowe, a tarcie pomiędzy nimi było znikome” oraz „...nawet atomowo cienkie, warstwy

- zanieczyszczeń”. Co znaczy określenie „połączenie kształtowe”? Brakuje rozwinięcia informacji nt. „warstwy zanieczyszczeń” – co to jest, z czego wynika, w jaki sposób te warstwy zostały określone?
- Punkt 2.4.2, strona 66. „Tak wykonane sondy nie rozwarstwiały się samoistnie. Jednak wciąż część z nich rozwarstwiała się podczas używania” oraz „... Te zmiany kształtu formy przynosiły oczekiwane rezultaty i można je określić jako całkowity sukces”. W jaki sposób występujące rozwarstwienie miało wpływ na wynik pomiaru? Czy wynik takiego pomiaru można uznać za wiarygodny? W przypadku drugiego zacytowanych zdań – co się stało ze wspomnianym rozwarstwieniem, czy zostało wyeliminowane?
 - Punkt 2.4.4, strona 70, ostatni akapit. Co wynika z prezentowanych rozważań? Co można wnioskować z zapisu „... osadzanie grubych warstw celowo prowadzi się tak, aby pojawiła się duża chropowatość”? O jaki rząd wielkości, a przede wszystkim jakim parametrem opisaną chropowatość chodzi?
 - Punkt 2.4.5, strona 71. Zadania „Był to dodatkowy argument za szlifowaniem całych płytek, aby wyrównać powierzchnię podstaw sond... Sondy po takim dodatkowym szlifowaniu dobrze trzymają się w pudełku z warstwą adhezyjną” są niezrozumiałe. Szlifowanie nie zapewnia wysokiej jakości powierzchni (gładkiej powierzchni), która przylegałaby do innej powierzchni siłami adhezji.
 - Punkt 2.4.6, strona 73, ostatni akapit. Gdzie dokładnie przytoczone w tym akapicie rozwiązanie jest stosowane, gdyż określenie „produkcja masowa” nie jest precyzyjne?
 - Punkt 2.5.1, strona 74. Proszę wyjaśnić skąd bierze się niepewność pomiaru równa 1-2 μm w przypadku mikroskopu optycznego oraz o jaki typ mikroskopu chodzi? Poza tym położenie sondy pod obiektywem raczej nie jest wystarczające, gdyż przedmiot o takiej geometrii (100-500 μm) wymaga mimo wszystko unieruchomienia, dla zapewnienia dokładności pomiaru.
 - Punkt 2.5.1, strony 76-77. „Pod względem uzyskanych wartości za najdokładniejszą należy uznać metodę polegającą na bezpośrednim pomiarze zarówno przemieszczenia, jak i siły... Pod względem praktycznym za najbardziej problematyczną należy uznać metodę pośrednią” Czytając te zdania odnosi się wrażenie sprzeczności, co wymaga głębszej analizy i wyjaśnienia.
 - Punkt 2.5.1, strona 77. „Daje jednak (metoda dynamiczna) wyniki dalekie od prawdziwych i jednocześnie obarczone dużą niepewnością”. Co znaczy wynik prawdziwy?
 - Punkt 2.5.1, strona 77, ostatni akapit. Opisana sonda „z kulką przyklejaną do belki jako ostrze pomiarowe” nie sprawia wrażenia trwałego, stabilnego i zapewniającego poprawny pomiar układu. Sposób mocowania takiej kulki musi być precyzyjny, zapewniający trwałość i stabilność, co wiąże się też z certyfikacją takiego rozwiązania. Certyfikat gwarantuje jakość wykonania sondy i poprawność wykonania pomiaru.
 - Rysunek 36 (c), strona 81. Czym są wypustki na końcu ostrza? W jaki sposób one mogą wpłynąć na jakość pomiaru/badania?
 - Tabela 13, strona 84. Tabela prezentuje wyniki pomiaru trzech typów sond niklowych. Ile sond danego rodzaju wytworzono? Czy wymiary tych sond oraz własności były powtarzalne? Jaki był błąd pomiaru?
 - Podrozdział 2.7, strona 85, ostatni akapit. „Długość i szerokość sond odbiegały od planowanych wymiarów w akceptowalnym zakresie... a różnice pomiędzy poszczególnymi sondami były istotne”. Co znaczy określenie „planowane wymiary”, czyli jakie? W jaki sposób określono poziom istotności, pisząc o różnicach między sondami, że „były istotne”?
 - Punkt 2.7.1, strona 85, zdanie „Wytworzono jedynie niewielką liczbę faktycznie działających sond pomiarowych”. Niewielką czyli ile? Dlaczego faktycznie działała niewielka liczba sond? Następne zdania skupiają się na wyjaśnieniu zasadności badań i dotyczą poprawy jakości sond, ale jak jakość tych sond przekłada się na ich działanie?
 - Punkt 2.7.1. Treść tego punktu jest chaotyczna. Zasadniczo nie wiadomo dlaczego akuratnie takie a nie inne badania wykonano. We wstępie podrozdziału 2.7 opisano sondy nikłowe oznaczone jako A, B i C, po czym w punkcie 2.7.1 w pomiarach uwzględniono inne sondy (wykonane ze złota, srebra i niklu), a w badaniach tribologicznych wykorzystano sondy krzemowe i nikłowe, nie określając czy chodzi o wytworzone sondy nikłowe A, B i C.
 - Tabela 15, strona 90. W jaki sposób, przy ilu pomiarach wyznaczono chropowatość, opisana parametrem Ra? Ile wykonano powtórzeń pomiaru profilu?

- Punkt 2.7.1, strona 90, akapit „Powyższe badania tarcia ...”. Skoro „...wszystkie próbki charakteryzują się inną chropowatością”, w jaki sposób nastąpi porównanie wyników badań i otrzymanych charakterystyk tribologicznych? Dochodzi jeszcze kwestia kształtu wykorzystanych w badaniach sond.
- Punkt 2.7.1, strona 91. Stwierdzenie „Na podstawie otrzymanych wyników można wyciągnąć wstępny wniosek, że znaczny wpływ na współczynnik tarcia ma powierzchnia kontaktu, która różniła się w wyniku różnego promienia zaokrąglenia sond” jest oczywiste i nie wynika wprost z badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej.
- Podobnie, jak w przypadku poprzedniego rozdziału, brakuje podsumowania, które wypunktowałoby najważniejsze wnioski, wprowadzające do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej.
- W treści rozdziału występuje wiele niedociągnięć redakcyjnych – błędów stylistycznych i interpunkcyjnych oraz mowa potoczna, np. „zaczynając od wstępnego planu na własną metodą...” (str.34), „Drugą kandydatką o zbliżonych parametrach...” (str.40), „...grubość warstwy była mierzony...” (str.49), „...do zadania przepływ prąd” (str.54), „...położyć bezpośrednio...” (str.74), „... będzie warta zachodu” (str.77), „Nastawa mówi mikroskopowi...” (str.78), etc.

Rozdział trzeci ***Pomiary tarcia ultra twardych materiałów***, jeden z dwóch rozdziałów prezentujących badania wykonane z wykorzystaniem wytworzonych sond pomiarowych, opisanych w rozdziale drugim. Rozdział obejmuje pięć podrozdziałów: *Metodologia badań* (3.1), *Przygotowanie próbek* (3.2), *Przygotowanie sond* (3.3), *Pomiary tarcia i wyniki* (3.4) oraz *Dyskusja* (3.5). W dyskusji wyników odniesiono się do prac opublikowanych przez innych badaczy, w zakresie porównywalnych badań doświadczalnych.

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Podrozdział 3.1 lepiej zatytułować *Metodyka Badań*, zamiast *Metodologia badań*.
- Podrozdział 3.1, strona 93. Jakiego rodzaju oprogramowanie zostało wykorzystane do przeprowadzenia analizy danych pozyskanych z urządzeń badawczych/pomiarowych?
- Podrozdział 3.2, strona 93. Co oznacza zapis w zdaniu „Dzięki temu miały zróżnicowana mikrostrukturę”?
- Tabela 16, strona 94. Z czego wynikają i co oznaczają prezentowane w tabeli nazwy próbek ZrC? W treści rozprawy doktorskiej nie ma informacji na ten temat.
- Punkt 3.2.1. W opisie przygotowania próbek, poza brakiem wyjaśnienia nazw próbek (Tabela 16) brakuje informacji na temat sond, a podawane są jedynie oznaczenia, również bez komentarza, np. CSC 17/Al. (strona 95). Poza tym podano informację, że „Chropowatość warstw została zmierzona przy użyciu AFM. Zobrazowano topografię powierzchni w trybie kontaktowym...”, ale nigdzie w pracy nie przedstawiono widoku tych topografii.
- Tabela 17, strona 95. Przedstawiono parametry charakteryzujące próbki ZrC, ale nie napisano na podstawie ilu pomiarów zaprezentowano otrzymane wyniki. Nie podano również informacji, o czym świadczą otrzymane wyniki i jaki mogą mieć wpływ na charakterystyki tribologiczne.
- Tabela 19, strona 96. Przedstawiono wyniki badań dla kolejnych trzech materiałów próbek, ale nie podano liczby wykonanych powtórzeń, tym samym, nie podano wyników, które świadczyłyby o wykonaniu powtórzeń dla każdego badanego materiału próbek na bazie tytanu i boru, jak to zrobiono dla próbek ZrC.
- Punkt 3.2.2, strona 97, ostatnie zdanie. „... ewentualne różnice w wartościach współczynnika tarcia będą wynikały z innych właściwości materiałów”. Innych czyli których?
- Podrozdział 3.3. Przyjęto przygotowanie sond metalowych, jak wynika z opisu „... które zostały dokładnie opisane w rozdziale 2”, ale nie napisano, o które dokładnie sondy chodzi. W przytoczonym rozdziale opisano wytwarzanie sond z różnych materiałów. Brakuje konkretnego wskazania, o jaki rodzaj sond (jaki materiał) chodzi oraz o jakiej geometrii.

- Podrozdział 3.3, strona 97. Podano dwie serie metalowych sond o różnej sztywności. Czy sprawdzono sztywność tych sond po ich wykonaniu? Czy rzeczywiście spełniały założone warunki (sztywność ok. 5 N/m oraz ok. 2000 N/m), bo z opisu wynika, że takie było tylko założenie.
- Rysunek 47, strona 98. W jakiej odległości od belki była kulka?
- Podrozdział 3.3, strona 99, zdanie „... a dodatkowo zarówno na tę częstotliwość, jak i na samą sztywność belki wpływa klej na jej powierzchni”. Jak ten wpływ przekłada się na pomiar?
- Rysunek 51 i Rysunek 52, strona 103. Opis dotyczący „...chropowatości poszczególnych warstw w formie pojedynczych punktów...” jest niejednoznaczny i przez to niezrozumiały.
- Rysunek 51, Rysunek 52 i Rysunek 53, strony 103-104. Wykresy prezentują wyniki dla różnych obciążeń wężła tarcia oraz różnych par materiałów. W związku z tym nie można tego porównywać. Porównanie można podzielić ze względu na rodzaj obciążenia, czyli porównanie przy tych samych warunkach badań.
- Podrozdział 3.5, zdanie „Pokazuje to jak duży wpływ na współczynnik tarcia mają materiały w parze trącej oraz obciążenie w czasie pomiaru”. Zbyt mało badań przeprowadzono, żeby takie wnioski formułować. Podobnie ze stwierdzeniem, że „wpływ chropowatości próbki jest pomijalny”.
- Podrozdział 3.5, zdanie „Otrzymane rezultaty pokazują znaczenie oraz zasadność badania interakcji materiałów przy różnych parametrach pracy, co jest szczególnie istotne podczas dobierania materiałów do rzeczywistego zastosowania w maszynach” jest oczywiste i nie wynika wprost z przedstawionych w rozprawie doktorskiej badań.
- Podrozdział 3.5, strona 106. Przedstawiono dyskusję wyników, w której porównywane są wyniki badań własnych z wynikami innych badaczy. Jednak odniesiono się do wyników otrzymanych przy innych warunkach badań. W związku z tym porównanie jest nieuzasadnione i niepoprawne.
- Podrozdział 3.5, strona 106, zdanie „Dla większości par trących współczynnik tarcia zmienił się nieznacznie... wzrósł znacząco, mimo niewielkiej zmiany obciążenia...” etc. Nieznacznie, znacząco, niewiele czyli ile konkretnie? Te określenia nie podają konkretnej wartości, która jest charakterystyczna dla nauk inżyniersko-technicznych.
- Podrozdział 3.5, strona 107, zdanie „Ogólną zasadą wskazywaną w literaturze [86, 87] jest spadek współczynnika tarcia wraz ze wzrostem twardości”. Zasada wynika z teorii potwierdzonej doświadczeniem lub odwrotnie, więc powoływanie się wyłącznie na artykuły jest mało wiarygodne.
- Podobnie, jak w przypadku poprzednich rozdziałów, brakuje podsumowania, które wypunktowałoby najważniejsze wnioski, wprowadzające do kolejnego rozdziału rozprawy doktorskiej.
- W treści występuje wiele niedociągnięć redakcyjnych – błędów stylistycznych i interpunkcyjnych oraz mowa potoczna, np. „innymi słowy” (str.101), „Odstające punkty, nieregularności na liniach tarcia powodowane przez chropowatość i zanieczyszczenia” (str.101), „materiały opracowanych...” (str.104), etc.

Rozdział czwarty ***Pomiary oporów ruchu w łożysku kulkowym*** prezentuje badania odwzorowujące rzeczywiste warunki pracy w kulkowym mikrołożysku wzdłużnym. Badania zrealizowano w dwóch układach, nazwanych odpowiednio pojedynczym łożyskiem i podwójnym łożyskiem (w porównaniu do pojedynczego łożyska, dodatkowe elementy to bieżnia oraz kulki z separatorem). Do realizacji badań doświadczalnych wykorzystano odpowiednio przygotowane wg autorskiej koncepcji sondy pomiarowe, a otrzymane wyniki pomiarów poddano analizie i dyskusji. Rozdział obejmuje kolejno podrozdziały: *Geneza i kontekst badań* (4.1), *Metodologia badań* (4.2), *Przygotowanie sond* (4.3), *Otrzymane wyniki* (4.4) oraz ich *Dyskusja* (4.5).

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Treść rozdziału jest chaotyczna. Brak logicznego powiązania z wcześniej prezentowanymi badaniami oraz wynikami. Brak logicznego uzasadnienia wykonania badań łożyska kulkowego w odniesieniu do wytworzonych sond metalowych i wyników prezentowanych w poprzednich rozdziałach rozprawy doktorskiej.

- Podrozdział 4.2, strona 109. „Kulki o średnicy 100 μm wykonane były ze szkła sodowego, a separatory z miedzi, czyli materiałów niemagnetycznych”. Dlaczego zdecydowano się na zastosowanie kulek wykonanych ze szkła sodowego, skoro ten rodzaj materiału nie uzyskał zadowalających wyników badań prezentowanych w Rozdział 3 (podrozdziały 3.4 i 3.5)?
- Podrozdział 4.2, strona 110. „... ponieważ pomiar siły wykonywany był na innych elementach niż ostatecznie użyte do budowy łożysk. Były to elementy o takim samym kształcie i gabarytach, jednak z pewnością różniły się rozmiarem przez niepewności w procesie ich wykonywania”. Czytając to stwierdzenie nasuwa się pytanie, jak zatem porównywać te badania i otrzymane wyniki? Jaki rodzaj nowej wiedzy można będzie na tej podstawie otrzymać, o ile w ogóle można to zrobić?
- Podrozdział 4.3, strona 112. „Sondy przygotowano w sposób analogiczny do tego opisanego w rozdziale 3.3 z tą różnicą, że użyto kulek o średnicy 300 μm ”. Po pierwsze nigdzie nie napisano, o jaki rodzaj sondy chodzi. Po drugie, wymiary zastosowanych belek pomiarowych odbiegają od tych, zaprezentowanych w podrozdziale 3.3, a średnica kulki jest też znacząco większa (ok. 10x, porównując z Rysunek 48).
- Podrozdział 4.4, strony 114-115, opis do Rysunek 59 i Rysunek 60. „Wartości na osiach X i Y zostały pominięte, ponieważ są jedynie elementem wizualizacji przez oprogramowanie – faktycznie nie mają merytorycznego znaczenia...” Nie zgadzam się z tym stwierdzeniem. Wartości na osiach x i y są istotne, chociażby dlatego, że pokazują jaki obszar powierzchni próbki jest analizowany. Mikroskopy AFM mają różne możliwości jeśli chodzi o pomiar powierzchni, a wartości na osiach x i y pokazują czy został wykonany pojedynczy skan powierzchni, czy wynika on ze „sklejania” kilku zmierzonych/skanowanych obszarów powierzchni.
- Podrozdział 4.5, strona 118. „Przygotowanie sondy pomiarowej przebiegało zgodnie z planem... Cały proces odbył się w sposób identyczny do opisanego w rozdziale 3.3, więc procedura była przetestowana i jej działanie potwierdzone”. Skoro przygotowana do badań sonda pomiarowa odbiegała pod względem wymiarów od tej, opisanej w procedurze (Podrozdział 3.3), to na jakiej podstawie stwierdzono, że działanie sondy zostało potwierdzone, skoro cały czas chodzi o inną sondę? Poza tym w dalszej części opisu na stronie 118 prezentowane są również wątpliwości mgr inż. Michała Milczarka.
- Podrozdział 4.5, strona 118. „Mimo tych obaw połączenie wytrzymało wszystkie badania – wykorzystano tylko jedną sondę”, gdzie wspomniane obawy wiązano z inną geometrią kulki pomiarowej i łączenia kulki z sondą. Mam wątpliwości, czy takie podejście do realizacji badań jest słuszne i naukowe.
- Podrozdział 4.5, strony 118-119. „współczynnik tarcia obliczony dla obu łożysk jest znacznie wyższy niż w klasycznym makroskalowym łożysku kulkowym... Dodatkowo zespół promotora pomocniczego przeprowadził badania podobnych łożysk [109]. Zasadniczą różnicą było zastosowanie zupełnie innego układu pomiarowego”. Dlaczego zdecydowano się porównywać układy zróżnicowane pod względem konstrukcji i warunków badań? Prawdopodobnie, powinno się przeprowadzić weryfikujące badania wytworzonych sond metalowych w rzeczywistym układzie i odnieść wyniki do układu modelowego.
- Podrozdział 4.5, strona 121. Przedstawiono wyniki analizy przeprowadzonych badań, których efektem jest stwierdzenie „Badania przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych i specjalnej sondy pozwoliły na zmierzenie współczynnika tarcia w miniaturowym łożysku tocznym... Podkreśla to jak ważne jest badanie układów w formie jak najbardziej zbliżonej do ostatecznej”. Stwierdzenie to nie jest odkrywcze, bo zasada prowadzenia badań tribologicznych jest znana od wielu lat, a polega na upraszczaniu węzłów tarcia, czyli wprowadzanie nowych materiałów powinny rozpoczynać modelowe badania tribologiczne a kończyć badania w warunkach odzwierciedlających rzeczywisty układ (np. badania z wykorzystaniem symulatorów), co opisano szeroko w literaturze przedmiotu.
- Podobnie, jak w przypadku poprzednich rozdziałów, brakuje podsumowania, które wypunktowałoby najważniejsze wnioski.
- W treści występuje wiele niedociągnięć redakcyjnych – błędów stylistycznych i interpunkcyjnych oraz mowa potoczna, np. „typowe ostrze pomiarowej” (str.111), „...w oczy rzuca się...” (str.119), etc.

Rozdział piąty **Podsumowanie** stanowi, zgodnie z tytułem rozdziału, podsumowanie rozprawy doktorskiej, prezentując główne wątki opracowania oraz kierunki dalszych prac.

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Akapit pierwszy zawiera informację o zrealizowaniu celu rozprawy doktorskiej. Brakuje jednak odniesienia do postawionej tezy.
- Prezentowana w tym rozdziale analiza oraz wnioskowanie są adekwatne do tych, prezentowanych we wcześniejszych rozdziałach rozprawy doktorskiej. Dlatego uwagi krytyczne, wątpliwości oraz pytania zawarto w komentarzach wcześniej.
- Brakuje wyraźnego wypunktowania kierunków dalszych prac, które zostały wplecione w treść podsumowania.

Literatura obejmuje zestawienie łącznie 109 pozycji w języku angielskim, w tym 9 materiałów pochodzących ze stron internetowych. Wśród przytoczonych pozycji literaturowych zaledwie 14 zostało opublikowanych w ciągu ostatnich 5 lat (od roku 2021). **Dobór literatury pod względem tematyki uważam za poprawny. Na uwagę zasługuje powołanie się w rozprawie doktorskiej na współautorskie opracowania z udziałem mgr inż. Michała Milczarka.**

UWAGI KRYTYCZNE I PYTANIA

- Brakuje więcej aktualnych pozycji literaturowych; w rozprawie doktorskiej niecałe 13% stanowią pozycje opublikowane po 2020 roku z wszystkich przytoczonych publikacji.
- Niektóre pozycje literaturowe mają niekompletne dane – brakuje wydawnictwa (9, 39, 71, 108) lub roku opublikowania (np. poz. 108).
- Brakuje ujednoczenia spisu literatury (odbiągające od pozostałych pozycje np. 9, 67, 78, 102, 108).

GŁÓWNE MANKAMANETY ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

W recenzowanej rozprawie doktorskiej odczuwalny jest brak kilku elementów pożądaných przy opracowaniu pracy naukowej, jaką jest rozprawa doktorska.

- Brak wprowadzenia do rozprawy doktorskiej i poruszanych w niej zagadnień, jak również przedstawienia struktury rozprawy doktorskiej.
- Brak podsumowania każdego rozdziału rozprawy doktorskiej, który stanowiłby konkluzje rozważań danego rozdziału i zapewniałby płynne przejście do kolejnego rozdziału.
- Brak wyraźnego podziału treści rozprawy doktorskiej na standardowe rozdziały, porządkujące jej opracowanie, czyli *wprowadzenie*, *przegląd literatury* (za kończony zdefiniowaniem luki badawczej), *cel i program badań (wraz ze schematem)*, *przedmiot i metodyka badań*, kolejne rozdziały poświęcone badaniom własnym, *podsumowanie*.
- Brak schematu obrazującego program badań ze wskazaniem kolejnych etapów prac projektowo-doświadczalno-analitycznych, do którego można byłoby się odnieść w kolejnych rozdziałach i podrozdziałach rozprawy doktorskiej. Przedstawiony w Podrozdziale 1.5 tytułowy *Program badań* jest niewystarczający, bo nie pokazuje tego programu badań, a raczej stanowi syntetyczną listę zadań pozbawionych opisu.
- Nawiązując do poprzedniej uwagi, tj. braku schematu z opisem kolejnych etapów prac projektowo-doświadczalno-analitycznych, w organizacji pracy słabo dostrzegalny jest efekt przyczynowo skutkowy, co utrudnia zrozumienie celowości realizowanych prac. Zasadniczo, czytając kolejne rozdziały/podrozdziały odkrywa się treść rozprawy doktorskiej i realizowane prace, niekoniecznie logicznie powiązane z poprzednimi.

- Brak wykazu skrótów i oznaczeń, które stosowane są w treści rozprawy doktorskiej.
- Poza tym, w treści rozprawy doktorskiej występują liczne błędy edytorskie, m.in. stylistyczne, interpunkcyjne oraz mowa potoczna.

PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana **rozprawa doktorska pt. *Metalowe sondy do mikroskopii sił atomowych – technologia oraz ich zastosowanie do innowacyjnych badań tribologicznych w mikroskali*** jest **opracowaniem** dotyczącym zagadnień z obszaru projektowania i technologicznego wytwarzania metalowych sond pomiarowych oraz sposobu ich wykorzystania, m.in. do badań właściwości tribologicznych układów w skali mikro.

Przedstawiony materiał projektowo-doświadczalno-analityczny jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Michała Milczarka, opracowanym na zadowalającym poziomie merytorycznym, który wpisuje się w zakres dziedziny *nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna*.

Prace projektowo-doświadczalno-analityczne podjęte przez mgr inż. Michała Milczarka pozwoliły na osiągnięcie celu zdefiniowanego w rozprawie doktorskiej, uzupełniając wiedzę w zakresie projektowania i wytwarzania metalowych sond pomiarowych przeznaczonych do badań tribologicznych mikroukładów, przy wykorzystaniu mikroskopu sił atomowych.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej zagadnienia, prace projektowo-doświadczalne, analiza wyników oraz wnioskowanie wskazują, że **mgr inż. Michał Milczarek orientuje się w literaturze przedmiotu oraz posiada wiedzę i doświadczenie badawczo-projektowe niezbędne do formułowania i rozwiązywania problemów naukowych, jak również realizowania zaplanowanych prac projektowo-doświadczalno-analitycznych** w ramach podjętej tematyki. Opracowując temat rozprawy doktorskiej, wykazał się dobrą organizacją prac badawczych oraz umiejętnościami analitycznymi i wnioskowaniem.

Zaprezentowany w rozprawie doktorskiej zakres badań stanowi przyczynek do ich kontynuowania w ramach dalszej działalności naukowo-badawczej mgr inż. Michała Milczarka.

Uwagi krytyczne przedstawione w niniejszej recenzji, jak też wskazane główne mankamenty rozprawy doktorskiej należy potraktować jako sugestię przy opracowywaniu kolejnych prac naukowych. Część uwag ma również charakter polemiczny, co nie wpływa znacząco na ocenę merytoryczną poziomu opracowania rozprawy doktorskiej. W związku z tym, **rozprawę doktorską mgr inż. Michała Milczarka w ogólnym odbiorze oceniam pozytywnie.**

Na podstawie przedstawionej recenzji **stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Milczarka pt. *Metalowe sondy do mikroskopii sił atomowych – technologia oraz ich zastosowanie do innowacyjnych badań tribologicznych w mikroskali* spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony w ramach dyscypliny naukowej *inżynieria mechaniczna*.**

